



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) RU (11) 2 069 863 (13) C1

(51) Int. Cl.⁶ G 01 R 27/04, G 01 N 27/02,
27/22

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 5066123/09, 18.06.1992

(46) Date of publication: 27.11.1996

(71) Applicant:
Tsentr'al'nyj nauchno-issledovatel'skij
institut mashinostroenija

(72) Inventor: Kolesnikov N.L.,
Vasil'ev B.A., Chumenkov V.P.

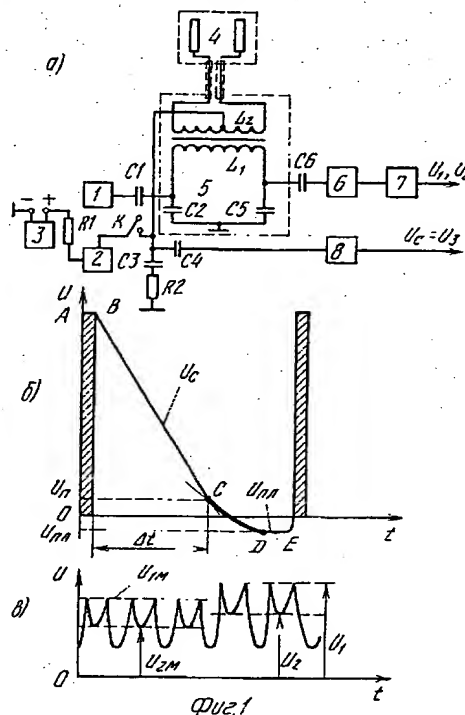
(73) Proprietor:
Tsentr'al'nyj nauchno-issledovatel'skij
institut mashinostroenija

(54) ANALYZER OF GAS, LIQUID AND LOOSE MEDIA

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering measurement facilities. SUBSTANCE: invention may find use in study of ecology, Earth's ionosphere, oceanology and other branches of economy. Invention is meant to increase sensitivity of analyzer in upper measurement limit of active component of impedance and to expand measurement range in upper limit thanks to enhanced capacitance of primary converter (probe), to capability of operation with companion primary converter (probe) at distance up to 11.0 km from resonance sensitive element and possibility of usage of primary converter (probe) with operational capacitance of order of 0.1-100.0 pF. Resonance sensitive element is manufactured in the form oscillatory circuits coupled via transformer. Secondary oscillatory circuit and primary converter (probe) connected to it are shunted by active resistance and capacitance. Resonance sensitive element is made by diagram of series oscillatory circuit coupled to generator and amplifier. Secondary oscillatory circuit is coupled to converter and generator of pulse bias voltage, its inductance winding is connected with its ends through transfer capacitances and double-conductor high-frequency cable to electrodes of primary converter. Active resistance and capacitance are placed between connection points of transfer capacitance with conductors high-frequency cable which means shunting of circuit and

primary converter. EFFECT: increased sensitivity of analyzer in upper measurement limit of active component of impedance. 4 dwg



RU 2 069 863 C1

RU 2 069 863 C1

Изобретение относится к радиотехническим измерительным средствам и может быть использовано для исследований в экологии, ионосфере Земли, океанологии и других отраслях народного хозяйства, например замер влажности зерна. Известны радиочастотные и резонансно-импедансные радиозонды, применяемые для измерения электро-радиофизических и физико-химических характеристик различных сред.

С помощью низкочастотного импедансного радиозонда исследовали нижние области ионосферы Земли.

Недостатком применяемого низкочастотного радиозонда является наличие погрешности измерений, вносимой ионными приэлектродными слоями, ограниченная емкость первичного преобразователя [1]

Для исследования верхних областей ионосферы Земли был применен высокочастотный резонансно-импедансный радиозонд с пилообразным напряжением смещения.

Недостатками его оказались низкая чувствительность по активной составляющей импеданса, ограниченность емкости первичного преобразователя в комплекте с соединительным кабелем [2]

В работе [3] для исследования ионосферы Земли применялись низкочастотный и высокочастотный импедансметры, работающие на частотах, многократно превышающих гиромагнитную частоту электронов ($f_H = 1,3$ МГц), чтобы исключить влияние замагниченности плазмы магнитным полем Земли, однако с их помощью были измерены лишь реактивные составляющие, по которым определяли концентрацию электронов, а активные составляющие импеданса не измерялись по причине недостаточной чувствительности устройств. С целью повышения чувствительности по активной составляющей импеданса для диагностики разреженной плазмы был применен дифференциальный радиозонд, однако ожидаемые результаты достигнуты не были, измерялись лишь реактивные составляющие.

Недостатками дифференциального радиозонда оказались низкая чувствительность по активной составляющей импеданса, наличие погрешности измерений от ионного приэлектродного слоя, ограниченность емкости первичного преобразователя [4]

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является устройство по заявке N 4750813/25 от 19.11.91 [5]

На фиг. 1а приведена структурно-принципиальная схема устройства прототипа. Она содержит генератор зондирующего частотно модулированного синусоидального напряжения 1, источник постоянного напряжения 3 с электронным ключом 2, двухэлектродный зонд 4, резонансный чувствительный элемент 5, выполненный по схеме эквивалента последовательного колебательного контура со вторичной обмоткой индуктивности и зарядно-разрядной цепью, состоящей из последовательно соединенных емкости C_3 и резистора R_2 , соединенного с общей точкой

схемы, а емкость соединена со средней точкой вторичной обмотки индуктивности и со свободным контактом реле электронного ключа 2. Кроме того, емкость зарядно-разрядной цепи через разделительную емкость соединена с эмиттерным повторителем 8, выход которого соединен с регистратором низкочастотного измерительного сигнала $U_c(t)$ (см. фиг. 2б). Генератор зондирующего частотно модулированного синусоидального напряжения 1 через проходную емкость включен в индуктивно-емкостную ветвь колебательного контура. Усилитель высокочастотного измерительного сигнала и амплитудный детектор объединены в одном блоке 7 и через истоковый повторитель 6 подключен к колебательному контуру в точке соединения индуктивно-емкостной и емкостной ветвей контура. Выход амплитудного детектора соединен с регистратором.

Устройство работает следующим образом. На резонансный чувствительный элемент и зонд одновременно подают зондирующее напряжение и импульсное напряжение смещения положительной полярности, при этом зонд одновременно работает и как импедансный радиозонд и как электрический импульсный зонд. На зондирующем частотно модулированном синусоидальном напряжении при резонансе чувствительного элемента, измеряют активную R и реактивную X_c составляющие входного импеданса Z зонда, погруженного в исследуемую плазму, при напряжении смещения, превышающем потенциал плазмы U_n . Напряжение смещения выполняет две функции: оно нейтрализует приэлектродный ионный слой, при этом понижается уровень U_1 (см. фиг. 1в) высокочастотного измерительного сигнала и повышается точность измерения активной и реактивной составляющих импеданса, и создает условия для формирования низкочастотного измерительного сигнала, формируемого зондовым током на емкости зарядно-разрядной цепи и несущего в себе измерительную информацию о плавающем U_{np} и пространственном U_n потенциалах плазмы, температуре T_e и концентрации N_e электронов. Измерительную информацию получают путем расшифровки записи измерительных сигналов с помощью градуировочных графиков (см. фиг. 3а, б и в), получаемых при градуировке устройства перед экспериментом.

Расшифровку записи измерительных сигналов выполняют в следующей последовательности, начиная с расшифровки высокочастотного сигнала:

на участках с минимальной амплитудой определяют значения $U_{1m}(t)$ и $U_{2m}(t)$, по которым с помощью графика фиг. 3а определяют значения $R_{\lambda}(t)$, а с помощью графика фиг. 3б и значениям $R(t)$ определяют C_x и $\Delta C_x = C_o - C_x$;

по значениям измеренных параметров с помощью первичных функциональных связей определяют удельную электрическую проводимость, приращение диэлектрической проницаемости $\Delta \epsilon'$, диэлектрическую проницаемость ϵ' и тангенс угла диэлектрических потерь исследуемой среды

$$\sigma(t) = \frac{a}{R(t)} \text{ см/м} \quad (1)$$

$$\Delta \varepsilon'(t) = \frac{\Delta C_x(t)}{C_0} \text{ отн. ед} \quad (2)$$

$$\varepsilon(t) = 1 \pm \Delta \varepsilon'(t) \text{ отн. ед} \quad (3)$$

$$\text{tg} \delta = \frac{1}{\omega C R_x} \quad (4)$$

$a=8,85/C_0$, C_0 начальная емкость зонда (первичного преобразователя).

Концентрацию электронов N_e см⁻³, эффективную частоту столкновения электронов $\nu_{\text{эфф}} \text{ с}^{-1}$ определяют из совместного решения уравнений для σ и $\Delta \varepsilon'$, объединяющих в себе измеренные и определяемые параметры [5]

$$\sigma(t) = 2,82 \cdot 10^{-2} \frac{N_e \nu_{\text{эфф}}}{\omega_o^2 + \nu_{\text{эфф}}^2} \text{ см/м} \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon'(t) = 3,19 \cdot 10^9 \frac{N_e}{\omega_o^2 + \nu_{\text{эфф}}^2} \text{ отн. ед} \quad (6)$$

Определяют давление P ионизованного газа в призондовой области

$$P(t) = 1,43 \cdot 10^{-11} \nu_{\text{эфф}}(t) \text{ атм} \quad (7)$$

Низкочастотный измерительный сигнал расшифровывают в такой последовательности:

определяют пространственный U_n и плавающий U_{nn} потенциалы плазмы по измерительному сигналу:

$$U_n = OU_n(B); U_{nn} = OU_{nn}(B) \quad (8)$$

определяют температуру электронов T_e , используя известные соотношения [6, 7, 9]

$$T_e = \frac{U_{nn}}{K\gamma} (K) = \frac{U_n}{\gamma \frac{K}{e} + \frac{K}{2e} \ln \frac{m_i}{m_e}} (K) \quad (9)$$

где e заряд электрона;
 $\gamma=5,04$ для атмосферы;
 K постоянная Больцмана;
 m_i и m_e масса иона и масса электрона;
определяют ток насыщения электронов I_{eo}

$$I_{eo} = \frac{\Delta U_n C_{\Sigma}}{\Delta t} \quad (10)$$

где ΔU_n изменение напряжения на зонде и зарядно-разрядной цепи за время Δt на участке ВС;

C_{Σ} суммарная емкость зарядно-разрядной цепи, которая определяется при градуировке устройства постоянным током (см. фиг. 3в);
определяют концентрацию

электронов N_e' , используя известное соотношение [6]

$$N_e' = 4,03 \cdot 10^{13} \frac{j_{eo} (A/cm^2)}{\sqrt{T_e}} \text{ см}^{-3} \quad (11)$$

Здесь $j_{eo} = I_{eo}/S$ (A/cm²) плотность электронного тока насыщения. S (см²) рабочая площадь зонда.

На этом расшифровка измерительных сигналов заканчивается.

Недостатками прототипа и других известных резонансно-импедансных измерительных устройств являются:

ограниченность емкости и габаритов первичного преобразователя (зонда, датчика, измерительной ячейки), что ограничивает чувствительность устройства по активной составляющей импеданса;

ограниченность длины электрической линии, соединяющей резонансный чувствительный элемент с первичным преобразователем, так как излишняя емкость для РЧЭ (резонансный чувствительный элемент) пропорциональна длине этой линии.

Именно эти недостатки ограничивают применение резонансно-импедансных методов и устройств для их реализации в экологии, каротаже нефтяных скважин, гидрологии, океанологии, управлении производственными процессами и других условиях, где требуется применение выносных первичных преобразователей и преобразователей с большой рабочей емкостью.

Цель изобретения заключается в повышении чувствительности устройства по верхнему пределу измерений активной составляющей импеданса и расширения диапазона измерения по верхнему пределу за счет увеличения емкости первичного преобразователя (зонда), возможности работать с выносным первичным преобразователем (зондом) на расстоянии 10-100 м от резонансного чувствительного элемента и возможности применения первичного преобразователя (зонда) с рабочей емкостью порядка 0,1 до 100 пф.

Цель достигается в результате применения РЧЭ, выполненного в виде трансформаторно связанных колебательных контуров, причем вторичный колебательный контур и соединенный с ним первичный преобразователь (зонд) зашунтированы активным сопротивлением и емкостью. Первичный резонансный колебательный контур (РЧЭ) выполнен по схеме эквивалента последовательного колебательного контура, он связан с генератором зондирующего напряжения и усилителем измерительного сигнала. Вторичный колебательный контур связан с преобразователем и генератором импульсного напряжения смещения, в нем обмотка индуктивности своими концами через проходные емкости C_3 и C_5 и двухжильный высокочастотный кабель соединена с электродами первичного преобразователя, при этом параллельно связанные активное сопротивление $R_{ш}$ и емкость C_4 включены между точками соединения проходных емкостей с жилами высокочастотного кабеля, что означает шунтирование контура и первичного преобразователя. Напряжение смещения подается в среднюю точку шунтирующего сопротивления $R_{ш}$, которое состоит из двух равных последовательно включенных резисторов $R_{ш}=R_2+R_3=2R_2=2R_3$, емкость $C_{ш}=C_4$ не менее чем на порядок превышает резонансную емкость для данного колебательного контура. Каждая из

проходных емкостей в два раза превышает резонансную емкость контура. Шунтирующее сопротивление равно удвоенному значению сопротивления по верхнему пределу диапазона измерений устройства без шунта. Подбирая шунтирующее сопротивление изменяют диапазон измерений активной составляющей на два-три порядка. Аналогично, изменяя значения шунтирующей емкости, изменяют диапазон измерений по реактивной составляющей. Шунтирование контура и зонда повышает чувствительность и расширяет диапазон измерения по верхнему пределу активной составляющей импеданса. Шунтирование контура емкостью повышает чувствительность по активной составляющей импеданса пропорционально увеличению емкости первичного преобразователя и позволяет удлинять соединительный кабель и работать с выносным первичным преобразователем, удаленным от РЧЭ на десятки метров.

Сравнение предложенного решения с прототипом и другими решениями этого же направления показало, что предлагаемое устройство для анализа газовых, жидких и сыпучих сред отличается высокой чувствительностью по активной составляющей импеданса и широким диапазоном измерений, многогранностью применений.

Изобретение поясняется фиг. 1-4.

На фиг. 1 показана структурно-принципиальная схема устройства прототипа; на фиг. 2 а) структурно-принципиальная схема устройства заявляемого изобретения, б) форма напряжения смещения, в) форма измерительного сигнала; на фиг. 3 форма градуировочных графиков устройств прототипа и заявляемого устройства; на фиг. 4 форма градуировочного графика устройства по сопротивлению и емкости через пиковый и синхронно-пиковый детекторы.

На фиг. 2а приведена структурно-принципиальная схема заявляемого устройства с развернутой принципиальной схемой резонансного чувствительного элемента (РЧЭ) и зарядно-разрядной цепи (ЗР). Она содержит генератор зондирующего напряжения 1, генератор модулирующего напряжения 2, резонансный чувствительный элемент 3, первичный преобразователь 4 в комплекте с высокочастотным кабелем, соединяющий первичный преобразователь с резонансным чувствительным элементом, электронный ключ 5 и источник постоянного напряжения 6, истоковый повторитель 7, истоковый повторитель 8, усилитель высокочастотного сигнала 9, в комплекте с ним амплитудный детектор, пиковый детектор 10, синхронно-пиковый детектор 12, управляемый модулирующим напряжением, подаваемым от генератора 2 через развязывающий блок 11, цифровой регистратор измерительных сигналов 13.

Работает устройство по принципу резонансно-импедансного метода измерений: на РЧЭ и первичный преобразователь (зонд) одновременно подаются зондирующее частотно-модулированное синусоидальное напряжение от генератора 1 и импульсное напряжение смещения от генератора 5, амплитуда импульсов в два-три раза

превышает потенциал плазмы (пространства). В РЧЭ частотно-модулированное синусоидальное напряжение преобразовывается в амплитудно-модулированное синусоидальное напряжение и становится измерительным высокочастотным сигналом. Напряжение смещения зарядив ЗР цепь и первичный преобразователь до импульсного значения отключается, в этот момент ЗР цепь начинает разряжаться зондовым током $I_{\text{зо}}$, при этом на емкости ЗР цепи формируется низкочастотный измерительный сигнал в виде напряжения $U_c(t)$ (см. фиг. 2б). Высокочастотный измерительный сигнал с выхода РЧЭ поступает на истоковый повторитель, затем на усилитель, амплитудный детектор; с одного из выходов амплитудного детектора измерительный сигнал $U_{1,2}$ поступает на регистратор, с другого выхода поступает на пиковый детектор, на выходе которого сигнал U_1 получается в виде непрерывной линии; с третьего выхода амплитудного детектора сигнал поступает на синхронно-пиковый детектор, а на его выходе получается U_2 в виде непрерывной линии (см. градуировочный график фиг. 4). На фиг. 2в показана форма измерительного сигнала $U_{1,2}$, формируемая в течение одного периода напряжения смещения. Видно, что уровень U_1 принимает некоторый минимум $U_{1\text{м}}$, когда напряжение смещения превышает потенциал плазмы (пространства) в призондовой области. Это участок ВС (фиг. 2б), на котором низкочастотный измерительный сигнал $U_c(t) = U_3(t)$ имеет линейную форму, следовательно, он формируется постоянным электронным током насыщения при отсутствии ионного слоя. Уровень $U_1 > U_{1\text{м}}$ наблюдается на участках, где на электродах зонда присутствует ионные слои: это участки СД и ДЕ, а на участке ДЕ на зонд одновременно поступают равные количества электронов и ионов, образовавшийся при этом потенциал $U_{\text{пл}}$ называется плавающим потенциалом плазмы.

Перед экспериментом устройство градуируют по сопротивлению R_x и по емкости C_x ; форма градуировочных графиков приведена на фиг. 3 и фиг. 4. Расшифровку записи измерительных сигналов выполняют в следующей последовательности, начиная с расшифровки высокочастотного сигнала:

на участках с минимальным уровнем $U_{1\text{м}}$ определяют значения $U_{1\text{м}}(t)$ и $U_{2\text{м}}(t)$, по которым с помощью градуировочного графика типа фиг. 3а определяют $R_x(t)$, а с помощью графика типа фиг. 3б и значений $R_x(t)$ определяют значения C_x и $\Delta C_x = C_0 - C_x$;

определяют удельную электрическую проводимость σ , приращение диэлектрической проницаемости $\Delta \epsilon'$, диэлектрическую проницаемость ϵ' и тангенс угла диэлектрических потерь, используя измеренные величины и первичные функциональные связи

$$\sigma(t) = \frac{a}{R(t)} \text{ (СМ/М)} \quad (12)$$

$$\Delta \epsilon'(t) = \frac{\Delta C_x}{C_0} \text{ ОТН. ЕД} \quad (13)$$

$$\varepsilon(t) = 1 \pm \Delta \varepsilon(t) \text{ отн.ед.} \quad (14)$$

$$t_{\text{гд}} = \frac{1}{\omega_o \times R} \quad (15)$$

Концентрацию электронов N_e см⁻³ и эффективную частоту столкновения электронов $\nu_{\text{эфф}}$ с⁻¹ определяют из совместного решения уравнений для σ и $\Delta \varepsilon$, объединяющих в себе измеренные и определяемые параметры

$$\sigma(t) = 2,82 \cdot 10^{-2} \frac{N_e \nu_{\text{эфф}}}{\omega_o^2 + \nu_{\text{эфф}}^2} \text{ см/м} \quad (16)$$

$$\Delta \varepsilon = 3,19 \cdot 10^9 \frac{N_e}{\omega_o^2 + \nu_{\text{эфф}}^2} \text{ отн.ед.} \quad (17)$$

определяют давление P ионизованного газа в призондовой области

$$P(t) = 1,43 \cdot 10^{-11} \nu_{\text{эфф}} \text{ атм} \quad (18)$$

Низкочастотный измерительный сигнал расшифровывают в такой последовательности:

определяют пространственный U_n и плавающий потенциалы

$$U_n = OU_n(B); U_{nn} = -OU_{nn}(B) \quad (19)$$

определяют температуру электронов T_e , используя известные соотношения

$$T_e = \frac{U_{nn}}{K\gamma} \langle K \rangle = \frac{U_n}{\gamma \frac{K}{e} + \frac{K}{2e} \ln \frac{m_i}{m_e}} \langle K \rangle \quad (20)$$

e заряд электрона, $\gamma = 5,04$ постоянная для атмосферы, k постоянная Больцмана, m_i и m_e масса иона и масса электрона;

определяют значение электронного тока насыщения I_{eo}

$$I_{eo} = \frac{\Delta U_n C_{\Sigma}}{\Delta t} \langle A \rangle \quad (21)$$

Здесь ΔU_n изменение напряжения на суммарной емкости C_{Σ} за время Δt , A суммарная емкость ЗР цепи, которая определяется при градуировке устройства постоянным током (фиг. 3в);

определяют концентрацию электронов N'_e , используя известные соотношения

$$N'_e = 4,03 \cdot 10^{13} \frac{j_{eo} (A/cm^2)}{\gamma T_e} \text{ см}^{-3} \quad (22)$$

где $j_{eo} = I_{eo}/S$ A/cm^2 плотность электронного тока насыщения;

S (см²) рабочая площадь первичного преобразователя (зонда).

На этом расшифровка измерительной информации закончена.

Результаты измерений, получаемые резонансно-импедансным методом, тождественно одинаковы как в прототипе, так и в заявляемом изобретении. Однако заявляемое устройство позволяет расширить диапазон измерений активной составляющей на полтора два порядка за счет увеличения емкости первичного преобразователя по сравнению с прототипом и, кроме того, заявляемое устройство позволяет работать с выносным первичным преобразователем

(зондом) на расстоянии до 11 км от резонансного чувствительного элемента. Последнее позволяет проводить измерения в глубинах пробуренных скважин, в глубинах морей, океанов, в зонах, где человеку опасно находиться (при наличии отравляющих веществ, радиационная опасность и т.п. зараженных средах), в различных труднодоступных местах.

1. Краснушкин Е.П. и Колесников Н.Л.

Геомagnetизм и аэрономия. 1965, 5, N 1, с.55.

2. Колесников Н.Л. и др. Авт.св. N 388221.

3. Аксенов В.И. и др. Космические исследования. 1976, N 3, с.392.

4. Колесников Н.Л. и др. Способ измерения импеданса плазмы. Авт.св. N 458749.

5. Колесников Н.Л. и др. Заявка N 4750813/25 от 19.11.91.

6. Грановский В.Л. Электрический ток в газах, т.1, М. 1952.

7. Гинзбург В.Л. Распределение электромагнитных волн в плазме. М. Наука, 1976 г.

8. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М. 1960 г.

9. Швилкин Б.Н. и др. Физическая электроника в задачах. М. Наука, 1977 г.

10. Николаев В.М. Радиотехника и электроника, 1986, т.31. N 6, с.206.

Формула изобретения:

Устройство для анализа газовых, жидких и сыпучих сред, содержащее зонд, генератор зондирующего напряжения, к входу которого подсоединен генератор синусоидального модулирующего напряжения, резонансный чувствительный элемент и последовательно соединенные усилитель высокой частоты и амплитудный детектор, отличающееся тем, что введены последовательно соединенные пиковый детектор и цифропечатающий регистратор, первый истоковый повторитель, выход которого соединен с входом усилителя высокой частоты, второй истоковый повторитель и развязывающий блок, включенный между выходом генератора модулирующего напряжения и первым входом введенного синхронного детектора, источник постоянного напряжения смещения, отрицательный полюс которого соединен с общей шиной, а положительный полюс через первый резистор соединен с подвижным контактом электронного реле, нормально разомкнутый контакт которого соединен через первый конденсатор с входом второго истокового повторителя, а через последовательно соединенные второй конденсатор и второй резистор с общей шиной, выход амплитудного детектора соединен с вторым входом синхронного детектора и через пиковый детектор с первым входом цифропечатающего регистратора, к второму входу которого подключен выход синхронного детектора, при этом резонансный чувствительный элемент выполнен в виде двух трансформаторно связанных контуров, каждый конец первичной обмотки которого через соответствующий проходной конденсатор соединен с общей шиной, к одному концу первичной обмотки через третий резистор подключен выход генератора зондирующего напряжения, а другой конец соединен через третий конденсатор с входом первого истокового повторителя, а к каждому концу вторичной обмотки резонансного чувствительного элемента через проходной

конденсатор и соответствующий проводник
двухжильного высокочастотного кабеля
подключен зонд и параллельно соединенные
четвертый конденсатор и шунтирующий

резистор, средняя точка которого соединена с
нормально разомкнутым контактом
электронного реле.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

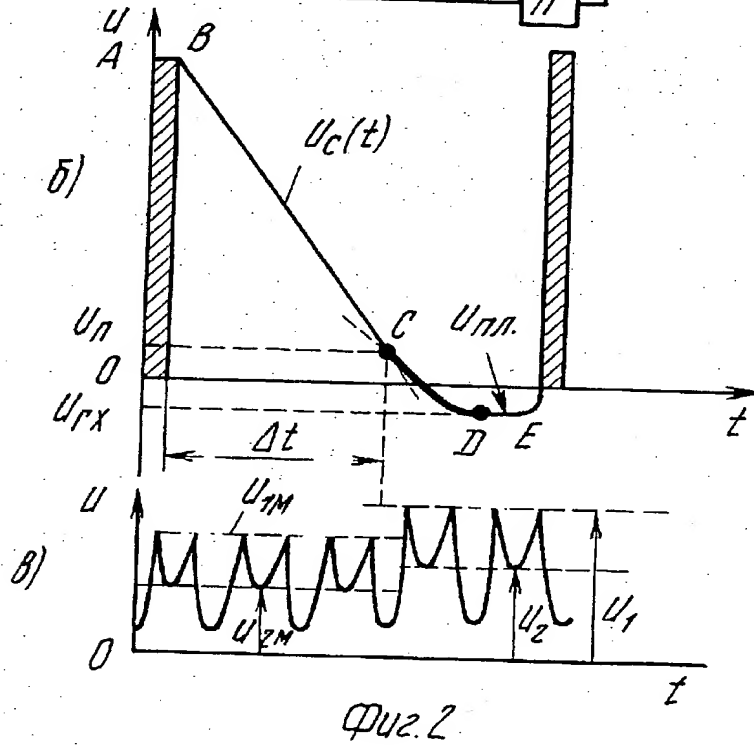
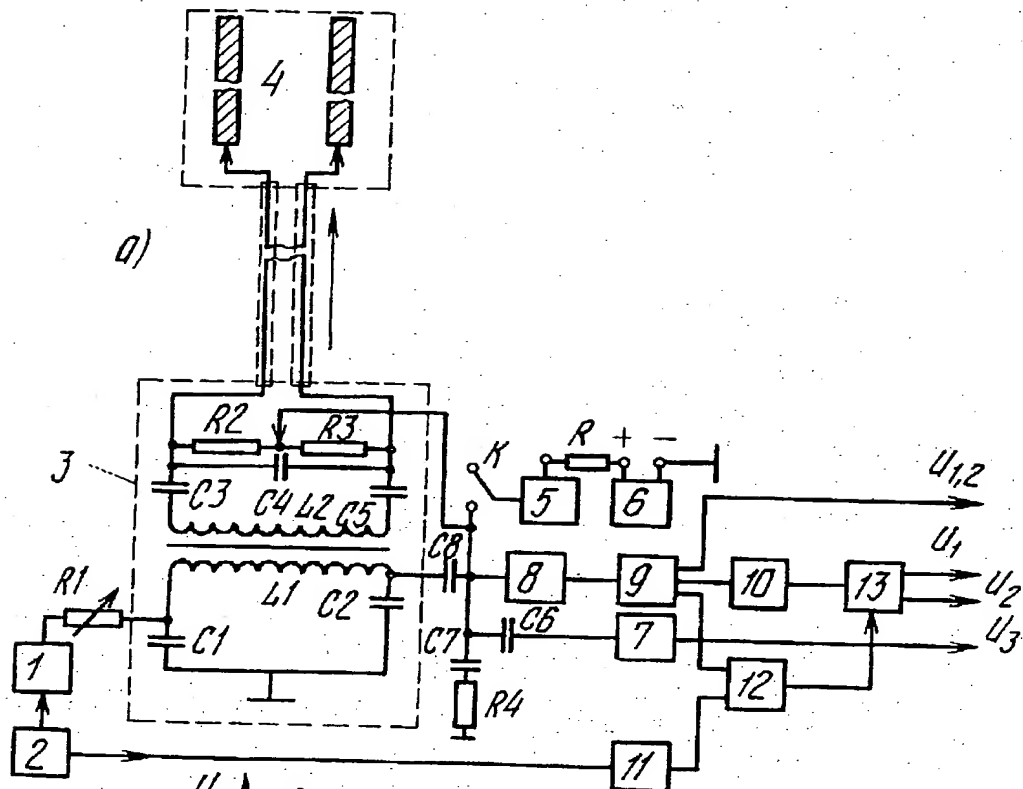
50

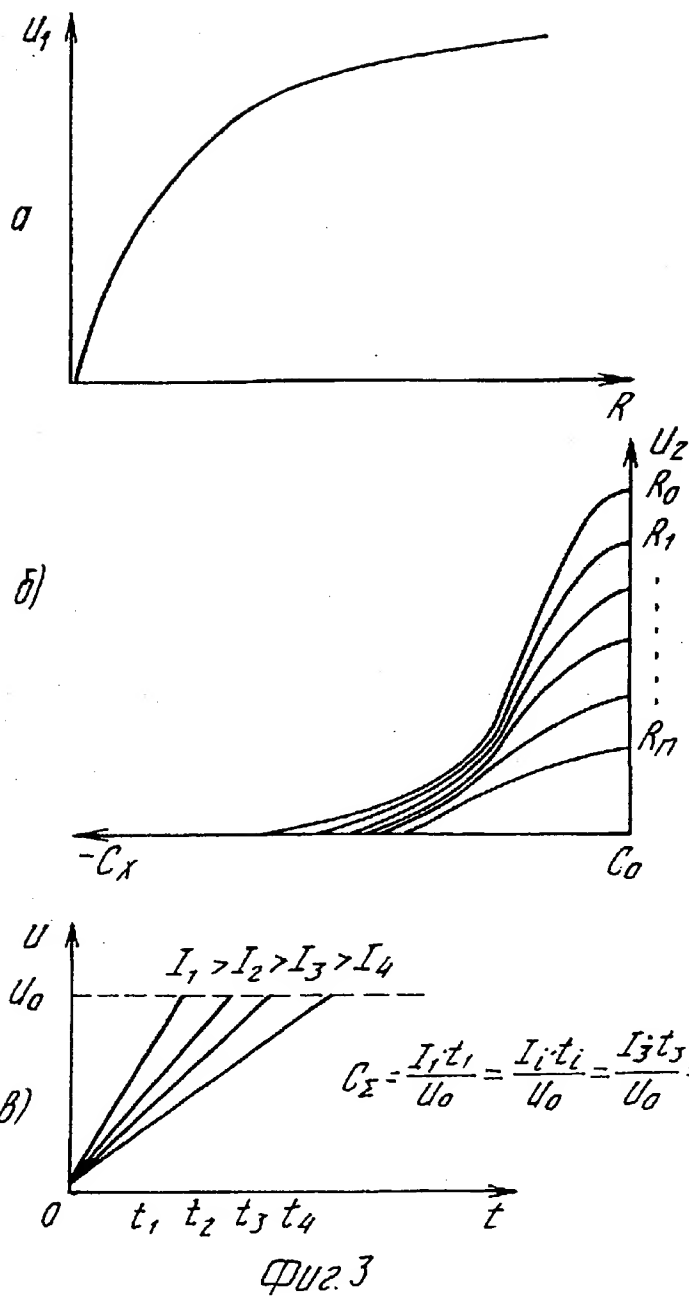
55

60

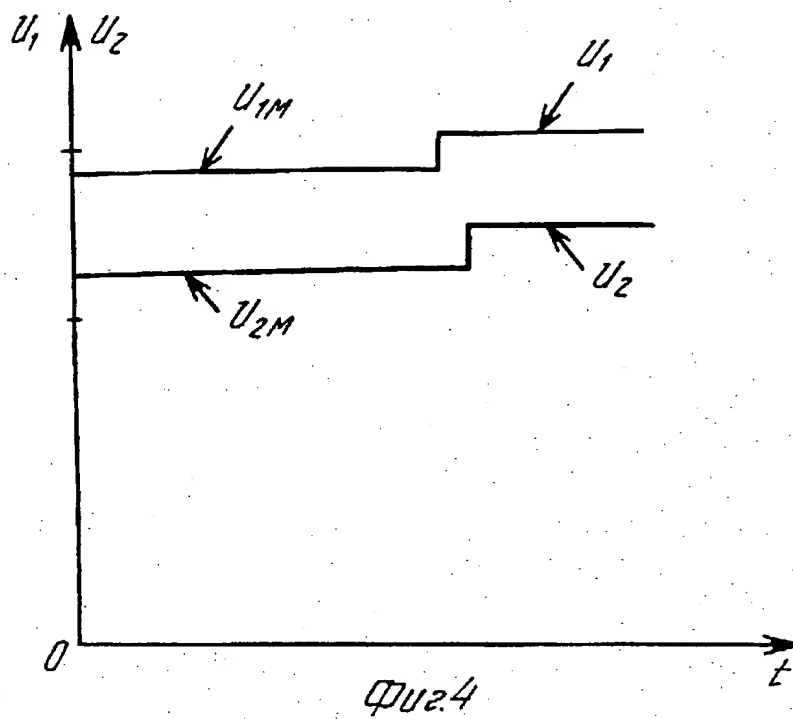
RU 2069863 C1

RU 2069863 C1





RU 2069863 C1



RU 2069863 C1

This Page Blank (uspro)